Chemische Untersuchungen über Löss und Lehm.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER

PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT

ZU

FREIBURG IM BREISGAU

VON

HANS GÜNTHER SCHERING

AUS

BERLIN.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

FREIBURG IM BR.
SPEYER & KAERNER
Universitätsbuchhandlung.
1909.

Prodekan:
Prof. Dr. Osann.

Referent:
Prof. Dr. Gattermann.

Druck von A. Bonz' Erben in Stuttgart.

Unter den Bildungen, welche an der Oberfläche der Erde bedeutende Verbreitung besitzen, nimmt der Löss eine hervorragende Stelle ein. Die ausgedehntesten Löss-Ablagerungen finden sich im nördlichen China[1], wo sie stellenweise über 500 m Mächtigkeit erreichen. In Deutschland besitzt der Löss seine Hauptverbreitung einerseits am Nordrand der deutschen Mittelgebirge, andererseits bedeckt er grosse Flächen auf den Abhängen der die oberrheinische Tiefebene begleitenden Gebirge.

Infolge seiner eigenartigen Beschaffenheit hat der Löss von jeher die Aufmerksamkeit der Geologen erregt. Als ein hellgelber Sand von äusserst feinem Korn findet er sich vielfach gleichmässig über Berge und Täler verteilt, sodass seine horizontale Verbreitung von der Meereshöhe unabhängig erscheint. Zu beiden Seiten der oberrheinischen Tiefebene findet er sich am Rande des Schwarzwalds und der Vogesen; ferner überzieht er die Hänge des Kaiserstuhls mit einer gleichmässigen Decke und findet sich hier, wie auch weiter nördlich bei Heidelberg, bis zu Höhen von 300 m über der Rheinebene.

Besonders charakteristisch ist für den Löss seine äusserst feinsandige, fast staubartige Beschaffenheit, die auch bei grösserer Mächtigkeit überall dieselbe bleibt. Er besteht vorzugsweise aus Quarz- und Feldspatsplittern, die durch Überzüge von kohlensaurem Kalk locker miteinander verbunden sind. Wenn sich

[1] von Richthofen, China. Berlin 1877.

die Masse auch leicht zwischen den Fingern zerreiben lässt, so ist der Zusammenhalt doch immerhin ein so fester, dass sich bei grösserer Mächtigkeit der Ablagerungen senkrechte Wände von oft beträchtlicher Höhe herausbilden können. Der Gehalt an Calcium- und Magnesiumkarbonat wechselt in verschiedenen Gegenden und übersteigt nicht 40 %. Die Karbonate, ursprünglich wohl als feinster Staub enthalten, haben unter dem Einfluss des den Löss seit Jahrtausenden durchdringenden Regenwassers eine Umbildung erfahren dergestalt, dass sie sämtliche Körner als feine Überzüge bedecken und miteinander verkitten[1]. Bei der Verwitterung werden die Karbonate allmählich herausgelöst und in tiefere Schichten geführt, wo sie sich häufig in bestimmten Zonen in Form eigentümlich gestalteter Konkretionen, der sog. Lösskindchen, abgesetzt finden.

Infolge seines lockeren Gefüges nimmt der Löss das Regenwasser leicht auf und hält es lange zurück, sodass es den Wurzeln der Pflanzen nutzbar gemacht werden kann. Hierauf, sowie auf den grossen Reichtum an Pflanzennährstoffen und die feine Verteilung ist die Fruchtbarkeit des Lössbodens zurückzuführen, die ihn zu einem Kulturboden ersten Ranges macht, der selbst ohne Düngung lange Zeit ertragfähig bleibt. Mit der feinsandigen Beschaffenheit im Zusammenhang steht ferner die Neigung zu senkrechter Zerklüftung, welche in den für alle Lössgebiete charakteristischen Hohlwegen ebenso wie der Mangel an Schichtung deutlich in die Erscheinung tritt.

Die Ansichten über die Entstehung des Löss sind lange Zeit sehr verschieden gewesen und auch heute ist noch keine volle Einigung erzielt. Während die

[1] Sauer, Über die äolische Entstehung des Löss am Rande der norddeutschen Tiefebene. Zeitschr. für Naturwissenschaften, Bd. 62 (1889).

einen den Löss als einen Absatz aus Wasser auffassen, sehen andere ihn als durch den Wind zusammengeblasenen Staub an. Die älteren Theorien sind diejenigen, die den Löss als einen feinen, schlammartigen Absatz aus Wasser betrachten. Die Anschauungen, dass dieser Absatz im Meere oder in einem grösseren Süsswasserbecken erfolgt sei, sind heute längst verlassen. Das gänzliche Fehlen mariner Fossilien und der Mangel an Schichtung sprechen gegen die erste, das Vorwiegen der Landschneckenfauna und die vertikale Verbreitung des Löss gegen die zweite. Ausserdem mussten zur Stütze beider Theorien ganz ausserordentliche gebirgsbildende Vorgänge vorausgesetzt werden, Annahmen, die durch keine andere Tatsache hinreichend belegt sind[1]. Da der Löss zweifellos mit vielen glazialen Bildungen in enger Beziehung steht, wurden später die Schmelzwasser des Eises als Träger des Lössmaterials angesehen, teils in Form zeitweiliger grosser Überschwemmungen, teils als langsam, aber ständig fliessender mächtiger Strom. Letzteren Ursprung nimmt Wahnschaffe für den norddeutschen Börde- und Randlöss an[2]. Das Lössmaterial selbst stammt hiernach aus den Grundmoränen der grossen Vereisung, aus denen es durch das Wasser ausgewaschen ist. Ebenso sieht Leppla[3] den Löss der Rheinpfalz als einen Absatz diluvialer Hochfluten an.

Ganz andere Anschauungen über die Entstehung des Löss entwickelte von Richthofen, nachdem er

[1] von Richthofen, China. Bd. 1.

[2] Wahnschaffe, Die lössartigen Bildungen am Rande des norddeutschen Flachlandes. Zeitschr. d. Deutsch. Geolog. Gesellsch. 38, 353 (1886). — Beitrag zur Lössfrage. Jahrb. der preuss. geolog. Landesanstalt 1889, 328. — Die Ursachen der Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes. 2. Aufl. Stuttgart 1901, S. 191.

[3] Leppla, Zur Lössfrage. Geognost. Jahreshefte 1889, S. 176. — Neues Jahrb. f. Mineral. usw. 1890, II, 194.

die grossen Lössgebiete Chinas kennen gelernt hatte[1]. Nach ihm ist der Löss eine äolische Bildung und verdankt seine Entstehung gewaltigen Staubstürmen, wie sie in den Steppengebieten im Inneren Asiens noch jetzt sehr häufig sind. Diese Theorie, die in vorzüglicher Weise die wichtigsten Eigenschaften des Löss erklärt, wurde von von Richthofen zuerst 1873 für den chinesischen Löss ausgesprochen, später aber auch auf die europäischen Vorkommen, insbesondere auch auf die in der oberrheinischen Tiefebene ausgedehnt. Seiner Ansicht haben sich in der Folgezeit die meisten Geologen angeschlossen[2]. Bezüglich der Herkunft der gewaltigen Staubmassen nimmt die Mehrzahl der Geologen ebenfalls die in der norddeutschen Tiefebene liegenden Grundmoränen als Ursprungsort an, natürlich erst nach Rückgang des Eises. Auch der Löss der oberrheinischen Tiefebene soll hiernach aus Norddeutschland stammen. In neuerer Zeit sind mehrfach Bedenken gegen einen so weiten Transport durch den Wind geltend gemacht worden. So nimmt z. B. Gutzwiller[3] an, dass der oberrheinische Löss aus den

---

[1] Vortrag in der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin am 8. März 1873. — China. Berlin 1877.

[2] Sauer, Über die äolische Entstehung des Löss am Rand der norddeutschen Tiefebene. Zeitschr. f. Naturwissenschaften, Bd. 62 (1889).

Schumacher, Die Bildung und der Aufbau des oberrheinischen Tieflandes. Mitteil. d. Kommission für die geolog. Landesuntersuchung f. Elsass-Lothringen, Bd. 2, 184 (1889).

Steinmann, Über die Gliederung des Pleistocän im badischen Oberland. Mitt. d. bad. geol. Landesanstalt, Bd. 2, 788 (1893). — Die Entwicklung des Diluviums in Südwest-Deutschland. Verhandl. d. Deutsch. Geolog. Gesellsch. 1898, S. 90.

[3] Gutzwiller, Der Löss mit besonderer Berücksichtigung seines Vorkommens bei Basel. Wissenschaftl. Beilage zum Bericht der Realschule zu Basel 1894. — Die Diluvialbildungen der Umgebung von Basel. Verhandl. der Naturf. Gesellsch. in Basel 10, 512 (1895).

Kiesen und Sanden des Rheintals selbst ausgeblasen sei, und Thürach[1] hat die gleiche Ansicht für den Löss des Kraichgaus ausgesprochen.

Wie schon erwähnt, besitzt der echte Löss überall, wo er auftritt, die gleichen charakteristischen Merkmale. Wie einige Untersuchungen zeigen, herrscht auch in der mineralischen und chemischen Zusammensetzung bei Lössproben aus den verschiedensten Gegenden gute Übereinstimmung. Was seine mineralische Beschaffenheit anlangt, so besteht er, abgesehen von einem wechselnden Karbonatgehalt, vorwiegend aus Quarz und zum kleinen Teil aus Silikaten, unter denen Feldspäte, und zwar hauptsächlich Orthoklas, überwiegen. In geringer Menge finden sich Muskowit, Biotit, Hornblende, Epidot, Disthen, Zirkon, Rutil, Turmalin, Apatit, Staurolit, Zoisit, Granat, selten Korund, Brookit, Glaukophan. Mit Ausnahme der drei letzten wurden alle genannten Mineralien in Lössproben von Heidelberg[2], Mühlhausen[3] und Basel[4] nachgewiesen.

Chemische Gesamtanalysen von Löss liegen in grösserer Anzahl vor; im folgenden seien einige von aus verschiedenen Gegenden stammenden Lössproben wiedergegeben:

---

[1] Thürach, Erläuterungen zu Blatt Odenheim der geol. Spezialkarte des Grossherzogtums Baden, S. 6 (1902).

[2] Andreae u. Osann, Löss und Lösslehm bei Heidelberg. Mitteilungen d. Grossh. bad. geolog. Landesanstalt 2, 733 (1893).

[3] Gutzwiller, Zur Altersfrage des Löss. Verhandl. d. Naturf. Ges. in Basel 13, 282 (1902).

[4] Gutzwiller, Der Löss mit besonderer Berücksichtigung seines Vorkommens bei Basel. Wissenschaftl. Beilage zum Bericht der Realschule zu Basel 1894. — Die Diluvialbildungen der Umgebung von Basel. Verhandl. der Naturf.-Gesellsch. in Basel 10, 512 (1895).

	Höhnheim bei Strassburg[1]	Mauer a. d. Elsenz (Baden)[2]	Haarlass bei Heidelberg[3]	Umstadt (Hessen-Darmst.)[2]	Heidingsfeld bei Würzbg.[2]	Langenweddingen b. Magdeb.[4]
SiO_2	54,36	52,38	56,35	56,60	54,51	67,54
Al_2O_3	8,05	6,60	7,47	7,52	7,77	7,33
Fe_2O_3	2,34	2,75	2,41	3,00	4,57	2,96
FeO	0,78	—	0,70	—	—	—
MnO	—	—	0,06	0,16	—	—
MgO	3,55	2,85	2,57	2,22	2,22	1,51
CaO	14,41	16,81	13,97	12,61	14,82	8,38
Na_2O	1,68	1,27	1,30	0,34	0,91	1,27
K_2O	1,97	1,22	3,66	1,52	1,21	2,47
P_2O_5	—	0,41	—	0,10	0,14	—
CO_2	12,03	13,92	11,66	10,40	12,92	7,14
H_2O	1,55	0,81	2,37	5,99	0,72	1,46
	100,72	99,02	102,52	100,46	99,79	100,06

Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich eine grosse Ähnlichkeit in der chemischen Zusammensetzung der sechs Proben; die Analysen würden noch mehr miteinander übereinstimmen, wenn man alle Zahlen auf karbonatfreie Substanz umrechnen würde.

Bei der Verwitterung geht der Löss in Lehm über. Äusserlich gibt sich dies dadurch zu erkennen, dass die vorher hellgelbe Farbe dunkler wird; der völlig verlehmte Löss ist schliesslich dunkelbraun gefärbt. Auch von den durch Verwitterung von Löss

[1] Schumacher, Erläuterungen z. geol. Karte d. Umgegend von Strassburg, S. 26 (1883).

[2] Rosenbusch, Elemente der Gesteinslehre. 2. Aufl. Stuttgart 1901, S. 429.

[3] Sauer, Erläuterungen zu Blatt Heidelberg der geol. Spezialkarte des Grossherzogtums Baden, S. 39 (1896).

[4] Wahnschaffe, Die Quartärbildungen der Umgegend von Magdeburg. Abhandl. z. geolog. Spezialkarte v. Preussen, Bd. 7, 36 (1885).

entstandenen Lehmen liegen eine Anzahl Analysen vor, von denen einige hier angeführt seien:

	Altkirch (Elsass) 1	Eichstetten (Kaiserstuhl) 2	Ziegelhausen bei Heidelberg 3	Umstadt (Hess.-Darmst.) 4	Heida (Sachsen)
SiO_2	73,10	69,70	75,18	73,64	79,27
Al_2O_3	13,14	12,30	10,01	11,36	10,54
Fe_2O_3	5,01	4,80	5,65	4,44	2,32
MnO	—	—	—	0,18	—
MgO	0,54	1,30	0,73	1,23	0,53
CaO	0,90	2,40	0,72	1,25	0,62
Na_2O	1,91	0,70	1,27	1,18	0,96
K_2O		3,10	3,97	1,43	2,40
Glühverl.	5,40	6,00	2,82	5,18	2,77
P_2O_5	—	—	—	0,15	—
	100,00	100,30	100,35	100,04	99,41

Vergleicht man die Analysen der Lösslehme mit denjenigen von unverwittertem Löss, so ist als wesentlichster Unterschied das Fehlen der Karbonate bei den Lehmen bemerkenswert. In der Tat ist die Abnahme der Karbonate ein besonderes Kennzeichen für die Verwitterung von Löss und man kann aus dem grösseren oder kleineren Karbonatgehalt auf den Grad

[1] C. Schmidt u. Fr. Hinden, Geologische und chemische Untersuchungen der Tonlager bei Altkirch im Oberelsass und bei Allschwyl im Baselland. Zeitschr. f. prakt. Geol. 15, 46 (1907).

[2] Schill, Geologische Beschreibung der Umgebungen der Bäder Glottertal und Suggental. Beiträge z. Statistik d. inneren Verwaltung des Grossherzogtums Baden. 1862.

[3] Sauer, Erläuterungen z. Blatt Heidelberg der geol. Spezialkarte des Grossherzogtums Baden, S. 39 (1896).

[4] Rosenbusch, Elemente der Gesteinslehre. 2. Aufl. Stuttgart 1901, S. 430.

[5] Sauer, Über die äolische Entstehung des Löss am Rand der norddeutschen Tiefebene. Zeitschr. f. Naturwissenschaften, Bd. 62 (1889).

derselben schliessen. In den Proben 2 und 4 scheint noch etwas Karbonat enthalten gewesen zu sein, da die Werte für Glühverlust und Kalk ziemlich hoch sind, während die Proben 3 und 5 nahezu frei von Karbonat gewesen sein dürften.

Die Verwitterung besteht aber nicht bloss in einer Entfernung der Karbonate, sondern damit geht gleichzeitig auch eine Umwandlung der Silikate, insbesondere des Feldspats, vor sich. Unsere Kenntnisse sowohl über den Verlauf der Verwitterung, als auch über die gebildeten Endprodukte sind noch sehr lückenhaft. Im Anschluss an Forchhammer[1] nimmt man im allgemeinen an, dass Feldspat bei der Verwitterung in Kaolin übergeht, indem er durch kohlensäurehaltiges Wasser derart zerlegt wird, dass die Alkalien und ein Teil der Kieselsäure gelöst werden[2], während das zurückbleibende Tonerdesilikat Wasser aufnimmt:

$$K_2Al_2Si_6O_{16} + 2\,H_2O + CO_2 =$$
$$H_4Al_2Si_2O_9 + K_2CO_3 + SiO_2.$$

Während man früher die Kaolinisierung als die am häufigsten vorkommende Art der Verwitterung ansah, haben neuere Untersuchungen gezeigt, dass die Verwitterungsprodukte vielfach einen mehr glimmerartigen Charakter besitzen. Die Umwandlung des Feldspats in Glimmer besteht ebenfalls in einer Wegführung von Kieselsäure und Alkalien, die jedoch nicht vollständig ist, da der entstehende Glimmer noch Alkali enthält:

$$3\,K_2Al_2Si_6O_{16} + 2\,H_2O + 2\,CO_2 =$$
$$2\,KH_2Al_3Si_3O_{12} + 2\,K_2CO_3 + 12\,SiO_2.$$

---

[1] Poggendorfs Annalen 35, 336 (1835).

[2] Roth, Allgemeine und chemische Geologie. Berlin 1879. Bd. 1, 141.

Gegenüber den älteren Anschauungen vertritt Weinschenk[1] die Ansicht, dass Kaolin niemals durch einfache Verwitterung entstehe, sondern stets das Erzeugnis eines pneumatolytischen Vorganges sei. Wenn nun auch die geologischen Tatsachen sehr dafür sprechen, dass Kaolin unter gewissen Bedingungen auch durch einfache Verwitterung entstehen kann[2], so ist er doch bisher noch niemals mit völliger Sicherheit in einem zweifellosen Verwitterungsprodukt nachgewiesen worden. Ebensowenig ist aber bisher der Beweis dafür geführt worden, dass einfache Verwitterungsprodukte keinen Kaolin enthalten. Da es sich hier um sehr komplizierte Mischungen verschiedener Stoffe handelt, ist der Beweis für die eine oder andere Ansicht eben sehr schwer zu führen. Van Bemmelen[3] hat sogar die Ansicht geäussert, dass man es hier vielfach garnicht mit eigentlichen chemischen Verbindungen zu tun habe, dass sich vielmehr Komplexe in unbestimmten Verhältnissen bilden, entsprechend den Absorptionsverbindungen, welche bei Mischung verschiedener Kolloide oder von Kolloiden und Elekrolyten erhalten werden können.

Im Laufe der Verwitterung werden CaO, MgO, Na_2O und K_2O zumeist an die durch die Tageswässer zugeführte Kohlensäure gebunden und in gelöstem Zustand fortgeführt. Die Kieselsäure, die aus der Zersetzung der Silikate durch die Verwitterung ent-

---

[1] Weinschenk, Grundzüge der Gesteinskunde, I. Teil. Allgemeine Gesteinskunde, 1902.

Rösler, Beiträge zur Kenntnis einiger Kaolinlagerstätten. Neues Jahrb. f. Min. u. Geol. 15. Beilageband, S. 231 (1902).

[2] Wüst, Die Entstehung der Kaolinerde der Gegend von Halle a. d. S. Zeitschr. f. prakt. Geologie 1907, 1.

Selle, Über Verwitterung und Kaolinbildung Hallescher Quarzporphyre. Inaugural-Dissertation Halle a. d. S. 1907.

[3] van Bemmelen, Zeitschr. f. Anorg. Chemie. Bd. 42, 265 (1904).

stand, wird auch gelöst, wohingegen reiner Quarz nahezu unlöslich ist. Während sich das Eisenoxyd anscheinend immer, wenn nicht reduzierende Stoffe zugegen sind, in freiem Zustand oder als Hydrat abscheidet, ist dies mit der Tonerde nur unter ganz bestimmten Umständen, bei der Lateritbildung, der Fall[1]; im allgemeinen bleibt die Tonerde an Kieselsäure gebunden. Über die Bedingungen, unter denen die eine oder die andere Art der Zersetzung eintritt, wissen wir trotz einer grossen Zahl sorgfältiger Untersuchungen[2] noch recht wenig. Mit Recht betont daher van Bemmelen die Notwendigkeit einer grösseren Zahl von Analysen von Verwitterungssilikat in verschiedenen Stadien der Verwitterung. In diesem Sinne wurden die folgenden Untersuchungen über eine Reihe von Löss- und Lösslehmproben, sowie eines Gneisslehms angestellt. Zugleich konnte so die Möglichkeit gegeben werden, den auf dem Kaiserstuhl und am Rand des Schwarzwalds gelegenen Löss in seiner chemischen Zusammensetzung mit den bereits vorliegenden Lössanalysen anderer Gegenden zu vergleichen.

[1] M. Bauer, Beiträge zur Geologie der Seyschellen, insbesondere zur Kenntnis des Laterits. Neues Jahrb. für Min. usw. 1898, II, 163.

[2] Th. Schlösing, Recherches sur l'état de l'alumine dans des terres végétales. Compt. rend. 132, 1203 (1901).

H. Warth und F. J. Warth, The Composition of Indian Laterite. Geolog. Magazine (4) 10, 154 (1903); ebenda (5) 2, 21 (1905).

E Kaiser, Über bauxit- und lateritartige Zersetzungsprodukte. Monatsber. d. Deutsch. Geolog. Gesellsch. 56, 17 (1904).

J. M. van Bemmelen, Beiträge zur Kenntnis der Verwitterungsprodukte der Silikate in Ton-, vulkanischen und Laterit-Böden. Zeitschr. f. anorg. Chemie 42, 265, 1904.

M. Bauer, Beitrag zur Kenntnis des Laterits, insbesondere dessen von Madagaskar. Neues Jahrb. für Mineralogie usw., Festband 1907, S. 33.

Bevor ich auf die Ergebnisse meiner Untersuchungen eingehe, möchte ich einiges über die angewandten Arbeitsmethoden vorausschicken.

Zur Gesamtanalyse wurde die lufttrockene Substanz mit Natriumkarbonat aufgeschlossen und jeder einzelne Bestandteil nach den üblichen Methoden der Silikatanalyse bestimmt. Eisen, Aluminium und Titan wurden im Filtrat von der Kieselsäure mit kohlensäurefreiem Ammoniak doppelt gefällt. Die geglühten Oxyde wurden nach der Wägung durch Schmelzen mit Kaliumpyrosulfat aufgeschlossen. In der Lösung der Schmelze wurde Eisen durch Schwefelwasserstoff reduziert und mit Kaliumpermanganat titriert. In derselben Lösung wurde nach Zusatz von Wasserstoffsuperoxyd das Titan kolorimetrisch bestimmt. Der Tonerdegehalt wurde aus der Differenz berechnet. Die Alkalibestimmung wurde in einer besonderen Probe nach dem Verfahren von Lawrence Smith ausgeführt. Das hygroskopische Wasser wurde durch Erhitzen bis 110°, der gesamte Wassergehalt nach Brush-Penfield bestimmt. Die Kohlensäurebestimmung erfolgte durch direkte Absorption mit Kalilauge nach der Fresenius-Classenschen Methode. Sämtliche Analysenresultate wurden auf die bei 110° getrocknete Substanz umgerechnet.

Zur Bestimmung der in Salzsäure leicht löslichen Bestandteile wurde eine Probe der Substanz mit fünfprozentiger Salzsäure ausgekocht und der Rückstand, zur Lösung der durch die Salzsäure abgeschiedenen Kieselsäure, fünf Minuten mit fünfprozentiger Sodalösung, in einigen Fällen mit fünfprozentiger Natronlauge erwärmt. Schliesslich folgte noch eine kurze

Behandlung mit fünfprozentiger Salzsäure. Da die erhaltenen Lösungen bei Anwendung gewöhnlicher Filter häufig trüb durchliefen, wurden meist gehärtete Filter benutzt. In einigen Fällen wurden die saure und die alkalische Lösung vereinigt. Zur Bestimmung der Alkalien wurde alsdann eine neue Probe nur mit Salzsäure ausgezogen und der Rückstand nach Lawrence Smith analysiert. Bequemer gestaltete sich die Bestimmung, wenn die saure und die alkalische Lösung gesondert untersucht wurden; dann konnten die Alkalien in der sauren Lösung selbst bestimmt werden. Der in fünfprozentiger Salzsäure unlösliche Rückstand wurde nicht gesondert analysiert, da er meist nur schwer durch Auswaschen von Chlornatrium befreit werden konnte. Vielmehr wurde seine Zusammensetzung aus dem Unterschied der Gesamtanalyse und des in fünfprozentiger Salzsäure löslichen Anteils ermittelt. Bei der Untersuchung der Lehme wurde ausser der Gesamtanalyse eine sogenannte „rationelle Analyse“ nach der Methode von Sabeck[1] ausgeführt. Hierzu werden 5 g Lehm mit einer Mischung von 50 ccm konzentrierter Schwefelsäure und 100 ccm Wasser in einer bedeckten Porzellanschale zum schwachen Sieden erhitzt, bis die Schwefelsäure abzurauchen beginnt, was nach etwa 4—4½ Stunden der Fall ist. Nach dem Erkalten wird die mit Wasser verdünnte Flüssigkeit in ein etwa 2 Liter fassendes Becherglas abgegossen. Der Rückstand wird je zweimal abwechselnd erst mit 10 ccm 33prozentiger Natronlauge, dann mit 5 ccm konzentrierter Salzsäure fünf Minuten lang gekocht; die dabei erhaltenen Lösungen werden in noch heissem Zustand in das gleiche Becherglas wie vorher abgegossen, worin sich die ungelösten Anteile in einigen Stunden absetzen. Die in der Schale gebliebene Menge des nicht gelösten Rückstandes

[1] Chemische Industrie 1902, S. 17.

wird mittels verdünnter Salzsäure auf ein Filter gebracht. Die im Becherglas befindliche klare Flüssigkeit wird vom Bodensatz vorsichtig abgegossen, so dass nichts davon verloren geht. Es verbleiben dann 50 bis 100 ccm Flüssigkeit, die mit dem Bodensatz in die Schale zurückgebracht und der vorher beschriebenen Behandlung mit Natronlauge und Salzsäure unterworfen werden, wobei jetzt die sauren und alkalischen Lösungen gesondert aufzufangen sind. Der Rest wird auf dasselbe Filter gebracht, dies im Platintiegel verascht und der Rückstand gewogen. Zur Bestimmung der in ihm enthaltenen Bestandteile wird zunächst die Kieselsäure mit Fluss- und Schwefelsäure abgeraucht, wobei die Basen als Sulfate zurückbleiben. Diese werden in Wasser und Salzsäure gelöst und nach den üblichen Methoden bestimmt. Aus dem Unterschied der Gesamtanalyse und der rationellen Analyse erhält man die in konzentrierter Schwefelsäure löslichen Anteile.

Für die Beurteilung von Bodenproben ist es oft von grosser Bedeutung, nicht nur die Gesamtmenge der vorhandenen Kohlensäure zu kennen, sondern auch deren Verteilung auf Calcium und Magnesium. Für diesen Zweck ist von Laufer und Wahnschaffe[1] eine Bestimmungsmethode ausgearbeitet worden, die auf der Umsetzung des Calcium- und Magnesiumkarbonats mit Ammoniumnitrat beruht:

$$CaCO_3 + 2\ NH_4NO_3 = Ca(NO_3)_2 + (NH_4)_2CO_3.$$

Das Calcium (und ebenso das Magnesium) geht als Nitrat in Lösung; das gebildete Ammoniumkarbonat zerfällt beim Kochen in Ammoniak und Kohlensäure, die entweichen. Die Ausführung ist kurz folgende: 1—2 g der möglichst fein gepulverten Sub-

[1] Wahnschaffe, Wissenschaftliche Bodenuntersuchung. 2. Aufl. Berlin 1903, S. 59.

stanz werden in einem Becherglas mit 20 ccm ganz konzentrierter Ammoniumnitratlösung ½ Stunde lang gekocht, wobei ab und zu das verdampfende Wasser ersetzt wird. Dann lässt man absitzen und giesst die heisse Lösung durch ein Filter unter Anwendung eines Heisswassertrichters, um zu vermeiden, dass das Filter durch auskristallisierendes Ammoniumnitrat verstopft wird. Man wiederholt das Aufkochen mit der Ammoniumnitratlösung noch zweimal, wäscht dann den Rückstand im Glase mit einer etwas verdünnten heissen Lösung von Ammoniumnitrat und gibt die Waschflüssigkeit ebenfalls durch das Filter. In dem Filtrat werden, nach starkem Verdünnen mit Wasser, Calcium und Magnesium in üblicher Weise bestimmt. Um zu sehen, in welchem Verhältnis die nach dieser Methode erhaltenen Zahlen zu der direkten Kohlensäurebestimmung, sowie zu den in verdünnter Salzsäure löslichen Mengen Kalk und Magnesia stehen, habe ich mit einem Löss im ursprünglichen und etwas verlehmten Zustand einige vergleichende Versuche angestellt und zwar mit den beiden als „Ringsheim I“ und „Ringsheim II“ bezeichneten Proben. „Ringsheim I“, ein ganz frischer, unverwitterter Löss, ergab bei zwei Bestimmungen nach Laufer und Wahnschaffe:

	a	b	Mittel
CaO	16,54	16,70	16,62
MgO	1,95	2,17	2,06

a) 1,5262 g Sbst. (bei 110° getrocknet): 0,2524 g CaO und 0,0821 g $Mg_2P_2O_7$.

b) 1,4480 g Sbst.: 0,2418 g CaO und 0,0867 g $Mg_2P_2O_7$.

Berechnet man aus diesem Gehalt an Oxyden die zur Bildung von Karbonat erforderliche Kohlensäuremenge, so entsprechen 16,62 % CaO 13,03 % CO_2 und 2,06 % MgO erfordern 2,25 % CO_2, zusammen 15,28 % CO_2, während bei der direkten Bestimmung 15,32 % und 15,33 % gefunden wurden.

a) 1,4917 g Sbst. (bei 110° getrocknet): 0,2285 g CO_2.
b) 1,4960 g Sbst.: 0,2294 g CO_2.

Aus der guten Übereinstimmung der nach verschiedenen Methoden erhaltenen Werte darf man wohl schliessen, dass beim Kochen mit Ammoniumnitrat tatsächlich nur die Erdalkalikarbonate gelöst worden sind.

„Ringsheim II“ ist ein schon ziemlich stark verlehmter Löss. Zwei Analysen nach Laufer und Wahnschaffe ergaben folgende Zahlen:

	a	b	Mittel
CaO	7,52	7,49	7,51
MgO	1,12	1,17	1,15

a) 1,9601 g Sbst. (bei 110° getrocknet): 0,1474 g CaO und 0,0605 g $Mg_2P_2O_7$.
b) 1,9476 g Sbst.: 0,1458 g CaO und 0,0627 g $Mg_2P_2O_7$.

Berechnet man aus diesen Zahlen die zur Bildung von Karbonat erforderliche Kohlensäuremenge in gleicher Weise wie vorher, so erhält man 7,12 % CO_2, während die direkte Bestimmung nur 6,60 % und 6,58 %, im Mittel 6,59 % CO_2 ergab.

a) 1,4265 g Sbst. (bei 110° getrocknet): 0,0942 g CO_2.
b) 2,9329 g Sbst.: 0,1930 g CO_2.

Es ist also der aus der gelösten Oxydmenge berechnete Karbonatgehalt zu hoch, d. h. es sind beim Kochen mit Ammoniumnitrat ausser dem Calcium- und Magnesiumkarbonat auch noch andere Erdalkaliverbindungen in Lösung gegangen. Es sind dies ohne Zweifel bei der Verlehmung gebildete, sehr leicht zersetzliche Silikate. Eine Entscheidung, ob dieser Überschuss an Erdalkalien auf das Calcium oder das Magnesium kommt, ob es sich also um Calcium- oder um Magnesiumsilikate handelt, ist nicht möglich; wahrscheinlich sind beide vorhanden. Die Methode von Laufer und Wahnschaffe liefert demnach richtige Werte für den Karbonatgehalt nur dann, wenn derartige

leicht zersetzliche Erdalkalisilikate nicht vorhanden sind, versagt aber bei stärkerer Verlehmung des Bodens. Dieser Schluss wurde bestätigt bei der Untersuchung einer völlig verlehmten Probe, dem Lösslehm von Gottenheim, bei der das durch Ammoniumnitrat gelöste CaO 0,49 % CO_2 erfordern würden, während nach der direkten Bestimmung nur 0,16 % CO_2 vorhanden ist.

1. Nach Laufer und Wahnschaffe:
   1,4649 g Sbst. (bei 110° getrocknet): 0,0092 g CaO.
2. Direkte bestimmung:
   a) 9,9502 g Sbst.: 0,0162 g CO_2.
   b) 9,7102 g Sbst.: 0,0158 g CO_2.

Löss von Wasenweiler.

Zunächst untersuchte ich zwei Lössproben von Wasenweiler am Kaiserstuhl. Vom nordöstlichen Ende des Dorfes zieht sich ein tief in den Löss eingeschnittener Hohlweg gegen den Bergrücken der Gagenhard empor. Die als „Wasenweiler I“ bezeichnete Probe wurde nahe am oberen Ende des Hohlwegs aus einer 6—8 m mächtigen Schicht des hier ganz unverwitterten jüngeren Löss etwa 2 m unter der Oberfläche entnommen. Die Probe zeigte die dem jüngeren Löss eigentümliche hellgelbe Farbe, äusserst feinsandige Beschaffenheit und war vollkommen frei von Schneckenschalen. Wie die mikroskopische Untersuchung des durch Salzsäure von den Karbonaten befreiten Lösses zeigte, besteht er überwiegend aus Bruchstücken von reinem Quarz; daneben ist ziemlich reichlich Feldspat und in wesentlich geringerer Menge Muskowit vorhanden. Der Feldspat ist grösstenteils Orthoklas, hier und da bemerkt man aber auch Plagioklas. Die ausserdem noch vorkommenden Mineralien treten an Menge sehr zurück und sind daher in der ursprünglichen Lössprobe nur ganz vereinzelt zu bemerken. Viel leichter erkennt man ihre Anwesenheit, wenn man Quarz und Feldspat mit Hilfe einer schweren Lösung entfernt. Als solche wurde Bromoform (spez. Gew. 2,82) benutzt und das Absitzen durch Anwendung einer Zentrifuge beschleunigt. Auf diese Weise gelingt es, die Trennung in wenigen Minuten herbeizuführen. In dem schweren Absatz konnten folgende Mineralien nachgewiesen werden: Turmalin, u. a. auch viele sog. Mohrenköpfe, Zirkon, Rutil, Magnetit, Titaneisen, Epidot,

Glaukophan, grüne Hornblende. Ausserdem waren noch einige andere Mineralien vorhanden, deren Natur nicht mit Sicherheit bestimmt werden konnte.

Die Analyse ergab folgende Zusammensetzung:

	a	b	Mittel
SiO_2	49,95	49,88	49,92
TiO_2	(0,52)	0,52	0,52
Al_2O_3	6,37	6,44	6,41
Fe_2O_3	(3,43)	3,43	3,43
MgO	3,22	3,23	3,23
CaO	17,52	17,43	17,48
Na_2O	1,01	(1,01)	1,01
K_2O	1,58	(1,58)	1,58
CO_2	15,64	(15,64)	15,64
H_2O	1,38	(1,38)	1,38
	100,62	100,54	100,60

Die eingeklammerten Zahlen wurden nur einmal bestimmt.

a) 1,5541 g Sbst: 0,0129 g H_2O (bei 110° weggehend) (0,83 %). 1,5111 g Sbst.: 0,7485 g SiO_2; 0,1547 g R_2O_3; 0.2626 g CaO; 0,1333 g $Mg_2P_2O_7$. 0,5487 g Sbst.: 0,0240 g $NaCl + KCl$ und 0,0444 g K_2PtCl_6. 1,5236 g Sbst.: (bei 110° getrocknet): 0,2605 g Glühverlust (17,10 %). 1,5361 g Sbst.: 0,0338 g Gesamtwasser (2,20 %). 1.4152 g Sbst.: 0,2194 g CO_2. 1,6333 g Sbst.: 0,2524 g CO_2. 1,5137 g Sbst.: 0,2359 g CO_2.

b) 1,0101 g Sbst.: 0,4997 g SiO_2; 0,1041 g R_2O_3, davon 0,0344 g Fe_2O_3 und 0,0052 g TiO_2; 0,1746 g CaO; 0,0892 g $Mg_2P_2O_7$.

Auf den Glühverlust entfallen nur die durch Zersetzung der Karbonate gebildete Kohlensäure und das gleichfalls ausgetriebene, ursprünglich chemisch gebundene Wasser, wie sich aus folgendem ergibt:

CO_2	15,64
H_2O	1,38
Summe	17,02
Glühverlust	17,10

Infolge dieser Übereinstimmung können andere flüchtige Stoffe und Humussubstanzen höchstens in Spuren vorhanden sein.

Zur weiteren Untersuchung wurde eine Probe längere Zeit mit fünfprozentiger Salzsäure erwärmt und die salzsaure Lösung der Analyse unterworfen. Die Alkalien wurden im Rückstand einer besonderen Probe bestimmt. Die Zusammensetzung des löslichen und des aus dem Unterschied zwischen Gelöstem und der Gesamtanalyse erhaltenen unlöslichen Anteils ist folgende:

	In Salzsäure löslich	In Salzsäure unlöslich
SiO_2	2,75	47,17
TiO_2	0,15	0,37
Al_2O_3	1,11	5,30
Fe_2O_3	2,06	1,37
MgO	3,10	0,13
CaO	17,02	0,46
Na_2O	—	1,14
K_2O	0,34	1,24
CO_2	15,64	—
	42,17	57,18

1,5083 g Sbst.: 0,0412 g SiO_2; 0,0496 g R_2O_3, davon 0,0309 g Fe_2O_3 und 0,0023 g TiO_2; 0,2546 g CaO; 0,1290 g $Mg_2P_2O_7$. 1,0040 g Sbst.: bei der Behandlung mit fünfprozentiger Salzsäure blieben nach dem Glühen 0,5610 g Rückstand (55,88 %); 0,7250 g eines in gleicher Weise hergestellten Rückstandes: 0,0530 g $NaCl + KCl$ und 0,0827 g K_2PtCl_6.

Berechnet man aus der gefundenen Kohlensäuremenge den Gehalt an Karbonaten unter der Voraussetzung, dass der gesamte in verdünnter Salzsäure lösliche Kalk als Karbonat vorhanden, der hiernach verbleibende Rest der Kohlensäure an Magnesia gebunden ist, so erhält man folgende Werte: Die in der salzsauren Lösung gefundenen 17,02 % CaO erfordern 13,34 % CO_2, um damit 30,36 % $CaCO_3$ zu bilden.

Es bleiben demnach für das Magnesiumkarbonat noch 15,64 — 13,34 = 2,30 % CO_2, entsprechend 2,11 % MgO oder 4,41 % $MgCO_3$. Da die Gesamtmenge Magnesia in der Lösung 3,10 % beträgt, so muss 1,0 % MgO in anderer Form, wohl als leicht zersetzbares Silikat, vorhanden sein. Das molekulare Verhältnis $CaCO_3$: $MgCO_3$ ergibt sich unter den gemachten Voraussetzungen wie 5,9 : 1.

Der untersuchte Löss ist also als ein sehr karbonatreicher zu bezeichnen und besteht aus etwa 35 % Karbonaten und etwa 65 % Silikaten. Ein sehr geringer Gehalt an Mangan und an Phosphorsäure ist in den schon wiedergegebenen, sowie in allen folgenden Analysen nicht mit aufgeführt.

Über die Natur der durch Salzsäure zersetzbaren Silikate lässt sich nichts bestimmtes sagen, da die mikroskopische Untersuchung hierfür keinen Anhalt gab. Berechnet man das Molekularverhältnis der verschiedenen Stoffe nach Abzug der Karbonate und unter Vernachlässigung der nur in sehr geringer Menge vorhandenen, so erhält man:

SiO_2	4,2
Al_2O_3	1,0
Fe_2O_3	1,2
MgO	1,3

Die zweite, mit „Wasenweiler II“ bezeichnete Probe stammte aus demselben Hohlweg wie die vorher beschriebene. Sie wurde aus einer mehrere Meter tiefer liegenden Schicht an der Stelle entnommen, wo der anfangs nördlich verlaufende Weg scharf nach Westen umbiegt. Infolge einer beginnenden Verlehmung besitzt der Löss hier eine etwas dunkler gelbe Farbe. Auch enthält er eine Menge Bruchstücke von Schnecken-

schalen, aber nur wenig ganze Gehäuse. Es dürfte sich demgemäss wohl um ein Umlagerungsprodukt (Rekurrenzzone Steinmanns[1]) handeln. Da der Löss sonst kein fremdes Material enthielt, konnte er für die vorliegende Uutersuchung doch verwendet werden. Bei der Untersuchung unter dem Mikroskop zeigte sich im wesentlichen das gleiche Bild wie bei der vorigen Probe. Von den selteneren Mineralien waren Turmalin, Zirkon und grüne Hornblende am häufigsten, ausserdem wurde Rutil, Glaukophan, Epidot, Magnetit und Titaneisen beobachtet.

Die Bauschanalyse ergab folgende Zusammensetzung:

SiO_2	54,00
TiO_2	0,60
Al_2O_3	8,26
Fe_2O_3	5,13
MgO	3,09
CaO	13,04
Na_2O	0,84
K_2O	1,75
CO_2	11,92
H_2O	1,90
	100,53

1,4979 g Sbst.: 0,0178 g H_2O (bei 110° weggehend) = 1,19%. 1,0359 g Sbst.: 0,5527 g SiO_2; 0,1432 g R_2O_3, davon 0,0525 g Fe_2O_3 und 0,0062 g TiO_2; 0,1335 g CaO; 0,0875 g $Mg_2P_2O_7$. 0,5326 g Sbst.: 0,0228 g NaCl + KCl und 0,0474 g K_2PtCl_6. 1,6144 g Sbst.: 0,2453 g Glühverlust (15,19%). 1,5640 g Sbst.: 0,0479 g Gesamtwasser (3,06%). 1,6196 g Sbst.: 0,1901 g CO_2. 1,6278 g Sbst.: 0,1923 g CO_2.

Ebenso wie bei Löss „Wasenweiler I“ entfallen auch hier auf den Glühverlust im wesentlichen nur

[1] Steinmann, Über die Gliederung des Pleistocän im badischen Oberlande. Mitteil. d. Grossh. Bad. Geol. Landesanstalt, Bd 2, 788 (1893).

die durch Zersetzung der Karbonate gebildete Kohlensäure und das chemisch gebundene Wasser:

CO_2	11,92
H_2O	1,90
Summe	13,82
Glühverlust	14,17 .

Dass die Summe von Kohlensäure und Wasser etwas kleiner ist als der Glühverlust, ist wohl auf eine kleine Beimengung von Humusstoffen zurückzuführen.

Bei der Behandlung mit fünfprozentiger Salzsäure wurden folgende Zahlen gefunden:

	In Salzsäure löslich	In Salzsäure unlöslich
SiO_2	3,45	50,55
TiO_2	0,10	0,50
Al_2O_3	1,16	7,10
Fe_2O_3	4,08	1,05
MgO	2,97	0,12
CaO	12,96	0,08
Na_2O	—	0,89
K_2O	0,22	1,53
CO_2	11,92	—
	36,86	61,82

1,4967 g Sbst.: 0,0510 g SiO_2; 0,0790 g R_2O_3, davon 0,0442 g Fe_2O_3; 0,1917 g CaO; 0,1212 g $Mg_2P_2O_7$.

0,6241 g Sbst.: bei Behandlung mit fünfprozentiger Salzsäure blieben nach dem Glühen 0,3845 g Rückstand; 0,3775 g Rückstand: 0,0248 g $NaCl$ + KCl und 0,0480 g K_2PtCl_6.

Berechnet man aus der Kohlensäuremenge den Gehalt an Karbonaten unter den gleichen Voraussetzungen wie bei der ersten Probe, so erhält man:

$CaCO_3$	23,12
$MgCO_3$	3,37
	26,49 .

Das molekulare Verhältnis $CaCO_3 : MgCO_3$ berechnet sich hiernach zu 5,9 : 1; es ist also genau das gleiche, wie bei der ersten Probe; während aber in dieser die Gesamtmenge der Karbonate 34,77 % beträgt, enthält diese schon etwas verlehmte Probe nur noch 26,49 %, also über 8 % weniger.

Für die übrigen in der salzsauren Lösung enthaltenen Bestandteile ergeben sich als Molekularverhältnisse:

SiO_2	5,0
Al_2O_3	1,0
Fe_2O_3	2,2
MgO	2,5 .

Im Vergleich zur ersten Probe haben also, wenn wir die Menge der Tonerde als Einheit ansetzen, alle übrigen Bestandteile zugenommen. Während bei der Kieselsäure diese Zunahme nur etwa ein Viertel der ursprünglichen Menge ausmacht, hat sich die Menge des Eisenoxyds und der Magnesia fast verdoppelt. Aus Mangel an sicheren Anhaltspunkten muss auch hier die Berechnung auf bestimmte Mineralien unterbleiben.

Löss von Ringsheim.

Zwei weitere Lössproben wurden am Westabhang des Kahlenbergs bei Ringsheim gesammelt und zwar an dem Wege, der in östlicher Richtung vom Dorf auf die Höhe des Berges führt. Die Entfernung dieser Stelle von dem Fundort des Löss von Wasenweiler beträgt in der Luftlinie 22 km. Es handelt sich auch hier um eine Ablagerung des jüngeren Löss. Die erste Probe, bezeichnet „Ringsheim I“ wurde aus einer frisch abgestochenen senkrechten Wand etwa 2 m unter der Oberfläche entnommen. Äusserlich war dieser Löss dem Löss „Wasenweiler I“ durchaus ähnlich, vor allem zeigte er dieselbe hellgelbe Farbe. Die mikroskopische Untersuchung ergab das Vorhandensein der gleichen Mineralien wie in den beiden vorher beschriebenen Proben. Auch hier waren von seltneren Mineralien Turmalin, Zirkon und grüne Hornblende am häufigsten, ausserdem wurden Rutil, Glaukophan und Titaneisen beobachtet. Schneckenschalen waren in sehr kleiner Menge vorhanden.

Die Bauschanalyse lieferte folgende Zahlen:

SiO_2	50,85
TiO_2	0,46
Al_2O_3	6,08
Fe_2O_3	3,46
MgO	3,04
CaO	17,49
Na_2O	1,08
K_2O	1,63
CO_2	15,33
H_2O	1,16
	100,58

1,5000 g Sbst.: 0,0103 g Wasser (bei 110° weggehend) (0,82 %). 1,4762 g Sbst.: 0,0140 g Wasser (bei 110° weggehend) (0,82 %). 1,0077 g Sbst.: 0,5082 g SiO_2; 0,1000 g R_2O_3, davon 0,0346 g Fe_2O_3 und 0,0046 g TiO_2; 0,1748 g CaO; 0,0837 g $Mg_2P_2O_7$. 0,5026 g Sbst.: 0,0238 g NaCl + KCl und 0,0421 g K_2PtCl_6. 1,5000 g Sbst.: 0,2601 g Glühverlust (17,34 %). 1,4927 g Sbst.: 0,0294 g Gesamtwasser (1,97 %). 1,5040 g Sbst.: 0,2285 g CO_2. 1,5084 g Sbst.: 0,2294 g CO_2.

Auf den Glühverlust entfallen, wie bei Löss „Wasenweiler I", im wesentlichen nur die durch Zersetzung der Karbonate gebildete Kohlensäure und das Wasser:

CO_2	15,33
H_2O	1,16
Summe	16,49
Glühverlust	16,65

Bei der Behandlung mit verdünnter Salzsäure wurden folgende Werte erhalten:

	In Salzsäure löslich	In Salzsäure unlöslich
SiO_2	2,25	48,60
TiO_2	0,05	0,41
Al_2O_3	1,08	5,00
Fe_2O_3	2,51	0,95
MgO	2,88	0,16
CaO	16,98	0,51
Na_2O	0,05	1,03
K_2O	0,14	1,49
CO_2	15,33	—
	41,27	58,15

1,4938 g Sbst.: 0,0334 g SiO_2; 0,0539 g R_2O_3, davon 0,0372 g Fe_2O_3 und 0,0007 g TiO_2; 0,2516 g CaO; 0,1178 g $Mg_2P_2O_7$. 1,5103 g Sbst.: nach dem Auszug mit fünfprozentiger Salzsäure blieben nach dem Glühen 0,8847 g Rückstand. 0,4338 g hiervon ergaben: 0,0316 g NaCl + KCl und 0,0576 g K_2PtCl_6.

Berechnet man auch hier die Menge der Karbonate in der bei Löss „Wasenweiler I" angegebenen Weise, so bekommt man:

$CaCO_3$	30,29
$MgCO_3$	3,87
	34,16

Nach der Methode von Laufer und Wahnschaffe bekommt man etwas abweichende Werte[1]:

$CaCO_3$	29,65
$MgCO_3$	4,31
	33,96

Da letztere Werte als die richtigeren anzusehen sind, so sind die bei Löss „Wasenweiler I" zur Berechnung des Karbonatgehaltes gemachten Voraussetzungen nicht ganz erfüllt; es stammt vielmehr ein kleiner Teil des in dem in fünfprozentiger Salzsäure löslichen Anteil befindlichen Kalkes von leicht zersetzbaren Silikaten. Immerhin gibt auch diese Berechnungsweise angenähert richtige Werte.

Das Molekularverhältnis ergibt sich aus den nach der Methode von Laufer und Wahnschaffe gefundenen Werten zu $CaCO_3 : MgCO_3 = 5{,}8 : 1$.

Für die übrigen in der salzsauren Lösung enthaltenen Stoffe findet man folgende Molekularverhältnisse:

SiO_2	3,4
Al_2O_3	1,0
Fe_2O_3	1,4
MgO	1,9

Vergleicht man die Zusammensetzung dieser Lössprobe mit der von „Wasenweiler I":

	Ringsheim I	Wasenweiler I
SiO_2	50,85	49,92
TiO_2	0,46	0,52
Al_2O_3	6,08	6,41
Fe_2O_3	3,46	3,43
MgO	3,04	3,23

[1] Seite 16.

CaO	17,49	17,48
Na_2O	1,08	1,01
K_2O	1,63	1,58
CO_2	15,33	15,64
H_2O	1,16	1,38
	100,58	100,60

so sieht man, dass die Unterschiede nur gering sind. Mit Ausnahme der Kieselsäure liegen sie fast innerhalb der Fehlergrenzen. Auch der Gehalt an Karbonaten ist fast derselbe:

	Ringsheim I	Wasenweiler I
$CaCO_3$	29,65	30,36
$MgCO_3$	4,31	4,41
	33,96	34,77

Stellt man denselben Vergleich auch mit den in Salzsäure löslichen Bestandteilen an:

	Ringsheim I	Wasenweiler I
SiO_2	2,25	2,75
TiO_2	0,05	0,15
Al_2O_3	1,08	1,11
Fe_2O_3	2,51	2,06
MgO	2,88	3,10
CaO	16,98	17,02
Na_2O	0,05	—
K_2O	0,14	0,34

so sind auch hier die Abweichungen, abgesehen von der Kieselsäure, nur klein, was sich namentlich bei einer Gegenüberstellung der Molekularverhältnisse der aus beiden Proben gelösten Stoffe ergibt:

	Ringsheim I	Wasenweiler I
SiO_2	3,4	4,2
Al_2O_3	1,0	1,0
Fe_2O_3	1,4	1,2
MgO	1,9	1,3

Ausserdem muss man bedenken, dass es sich nur um kleine Mengen handelt, und deshalb auch schon ge-

ringe Unterschiede das Ergebnis stark beeinflussen. Unter Berücksichtigung aller dieser Erwägungen darf man wohl sagen, dass die beiden Lössproben trotz der grossen räumlichen Entfernung ihrer Fundorte in ihrer Zusammensetzung so gut übereinstimmen, als man es bei zwei verschiedenen Proben eines derartigen Materials überhaupt erwarten kann. Hieraus darf man wohl mit Recht den Schluss ziehen, dass auch die Herkunft und Entstehungsweise der beiden Lössproben die gleiche ist.

An der Stelle, wo die vorher beschriebene Probe gesammelt wurde, ist der jüngere Löss von einer etwa 0,5 m mächtigen Verlehmungszone bedeckt. Aus dieser Zone wurde eine zweite Probe etwa 20—30 cm unter der Oberfläche entnommen. Die Verlehmung gibt sich durch die erheblich dunklere Färbung zu erkennen, die aber ausserdem auch noch durch einen Gehalt an Humusstoffen verstärkt wird.

Die mikroskopische Untersuchung ergab die Anwesenheit derselben Mineralien wie in dem unveränderten Löss.

Die Bauschanalyse ergab folgende Zusammensetzung:

SiO_2	64,73
TiO_2	0,53
Al_2O_3	7,40
Fe_2O_3	4,02
MgO	2,10
CaO	7,96
Na_2O	1,02
K_2O	2,21
CO_2	6,59
H_2O	1,44
Organ. Stoffe	2,29
	100,29

1,5049 g Sbst.: 0,0264 g Wasser (bei 110° weggehend); 1,6305 g Sbst.: 0,0322 g (bei 110° weggehend) (Mittel 1,86%).

1,0806 g Sbst.: 0,6865 g SiO_2; 0,1267 g R_2O_3, davon 0,0426 g Fe_2O_3 und 0,0057 g TiO_2; 0,0844 g CaO; 0,0614 g $Mg_2P_2O_7$. 0,5421 g Sbst.: 0,0288 g $NaCl + KCl$ und 0,0624 g K_2PtCl_6. 1,6305 g Sbst.: 0,1950 g Glühverlust (11,96 %). 1,4780 g Sbst.: 0,0491 g H_2O. 1,4936 g Sbst.: 0,0471 g H_2O (Mittel 3,27 %). 1,4535 g Sbst.: 0,0942 g CO_2; 2,9885 g Sbst.: 0,1930 g CO_2.

Die Summe von Kohlensäure und Wasser ist hier erheblich kleiner als der Glühverlust:

CO_2	6,59
H_2O	1,44
Summe	8,03
Glühverlust	10,29
Rest	2,26

Der Unterschied ist auf einen Gehalt an Humusstoffen zurückzuführen, deren Anwesenheit sich auch aus dem ganzen übrigen Verhalten der Probe ergibt.

Die Behandlung mit fünfprozentiger Salzsäure ergab folgende Werte:

	In Salzsäure löslich	In Salzsäure unlöslich
SiO_2	3,76	60,97
TiO_2	—	0,53
Al_2O_3	1,18	6,22
Fe_2O_3	3,04	0,98
MgO	1,85	0,25
CaO	7,60	0,36
Na_2O	—	1,29
K_2O	0,38	1,83
CO_2	6,59	—
	24,40	72,43

1,5083 g Sbst.: 0,0556 g SiO_2; 0,0624 g R_2O_3, davon 0,0449 g Fe_2O_3; 0,1125 g CaO; 0,0755 g $Mg_2P_2O_7$.

1,4595 g Sbst.: nach dem Auszuge mit fünfprozentiger Salzsäure blieben nach dem Glühen 1,0501 g Rückstand. 0,4785 g hiervon ergaben: 0,0348 g $NaCl + KCl$ und 0,0620 g K_2PtCl_6.

Berechnet man aus der gefundenen Kohlensäuremenge den Gehalt an Karbonaten unter der Voraus-

setzung, dass der gesamte in verdünnter Salzsäure lösliche Kalk als Karbonat vorhanden, der hiernach verbleibende Rest der Kohlensäure an Magnesia gebunden ist, so erhält man folgende Werte:

$CaCO_3$	13,56
$MgCO_3$	1,21
	14,77

Das Molekularverhältnis $CaCO_3 : MgCO_3$ ist 9,6 : 1. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Wert für $CaCO_3$ zweifellos zu hoch und der für $MgCO_3$ zu niedrig ist, wegen der Anwesenheit leicht zersetzlicher Silikate. Für die übrigen in der salzsauren Lösung vorhandenen Stoffe findet man folgende Molekularverhältnisse:

	Ringsheim II	Ringsheim I	Wasenweiler II
SiO_2	5,4	3,4	5,0
Al_2O_3	1,0	1,0	1,0
Fe_2O_3	1,6	1,4	2,2
MgO	2,7	1,9	2,5

In Vergleichung mit dem unveränderten Löss hat bei der Verwitterung die Kieselsäure verhältnismässig am meisten zugenommen, auch der Gehalt an Magnesia ist nicht unerheblich gewachsen, während die Menge des Eisenoxyds annähernd die gleiche geblieben ist. Nach dem Verhalten der beiden Lössproben von Wasenweiler hätte man auch bei der vorliegenden Probe eine Zunahme des Eisenoxydgehaltes erwarten dürfen, die bei der stärkeren Verlehmung sogar noch grösser hätte sein müssen als bei der Probe „Wasenweiler II". Dass dies nicht der Fall ist, muss wohl auf den Gehalt an Humusstoffen zurückgeführt werden. Durch diese organischen Stoffe wird das Eisenoxyd reduziert und damit löslich gemacht, sodass es nunmehr durch das eindringende Wasser ebenfalls entführt werden kann.

Lösslehm von Gottenheim.

Da auch bei der Probe „Ringsheim II“ die Verlehmung noch durchaus nicht vollständig war, wie der immerhin noch erhebliche Gehalt an Karbonaten zeigt, wurde noch ein ganz verlehmter Löss von Gottenheim am Kaiserstuhl untersucht. Das Lössprofil vom Kirchweg bei Gottenheim ist von Steinmann[1] eingehend beschrieben worden. Die von mir untersuchte Probe entstammt der Schicht „rotbrauner Leimen mit Manganknötchen“. Wie sich aus der Darstellung von Steinmann ergibt, handelt es sich um den Verwitterungsrückstand von älterem Löss. Es ist ein rotbrauner Lehm, der bei der Behandlung mit Salzsäure nicht mehr aufbraust und beim Schlämmen kleine Mangankonkretionen hinterlässt.

Die mikroskopische Untersuchung des in Salzsäure unlöslichen Teils ergab neben überwiegend Quarz die Anwesenheit von Feldspat und Muskowit; von schweren Mineralien konnten Turmalin, Zirkon, grüne Hornblende, Rutil, Glaukophan und Magnetit mit Sicherheit bestimmt werden.

Die Bauschanalyse ergab folgende Zusammensetzung:

SiO_2	73,21
TiO_2	0,79
Al_2O_3	9,82
Fe_2O_3	6,84
MgO	1,32
CaO	1,11
Na_2O	1,57
K_2O	2,11
CO_2	0,16
H_2O	2,75
Organ. Stoffe	0,60
	100,28

[1] G. Steinmann, Über die Gliederung des Pleistocän im badischen Oberland. Mitteil. der Grossh. bad. geol. Landesanstalt, Bd. 2, 750 (1893).

1,4580 g Sbst.: H_2O (bei 110° weggehend): 0,0426 g (2,92 %); Gewichtsverlust von 110° bis zur Weissglut 0,0508 g. 1,0369 g Sbst.: 0,7374 g SiO_2; 0,1758 g R_2O_3, davon 0,0689 g Fe_2O_3 und 0,0080 g TiO_2; 0,0112 g CaO; 0,0366 g $Mg_2P_2O_7$. 0,4980 g Sbst.: 0,0304 g NaCl + KCl und 0,0527 g K_2PtCl_6. 1,5276 g Sbst.: 0,0855 g Gesamtwasser (5,60 %), 9,9502 g Sbst.: 0,0162 g CO_2; 9,7102 g Sbst.: 0,0158 g CO_2.

Der Glühverlust stimmt mit der Summe von Kohlensäure und gebundenem Wasser nicht überein:

CO_2	0,16
H_2O	2,75
Summe	2,91
Glühverlust	3,51
Rest	0,60

Der Rest von 0,6 % dürfte wohl auf eine kleine Beimengung von Humusstoffen zurückzuführen sein. Der Gehalt an $CaCO_3$ ergibt sich entsprechend dem Kohlensäuregehalt zu 0,21 %, während $MgCO_3$ nicht mehr vorhanden ist, wie eine Untersuchung nach Laufer und Wahnschaffe ergab[1].

Die Behandlung mit fünfprozentiger Salzsäure lieferte folgende Zahlen:

	In Salzsäure löslich	In Salzsäure unlöslich
SiO_2	6,53	66,68
TiO_2	0,10	0,69
Al_2O_3	2,33	7,49
Fe_2O_3	5,78	1,06
MgO	0,96	0,36
CaO	0,88	0,23
Na_2O	0,12	1,45
K_2O	0,17	1,94
CO_2	0,16	—
	17,03	79,90

1,5219 g Sbst.: 0,0966 g SiO_2; 0,1218 g R_2O_3, davon 0,0856 g Fe_2O_3 und 0,0014 g TiO_2; 0,0130 g CaO; 0,0392 g $Mg_2P_2O_7$.

[1] siehe Seite 18.

1,5027 g Sbst.: bei der Behandlung mit fünfprozentiger Salzsäure blieben nach dem Glühen 1,2039 g Rückstand. 0,3835 g hiervon ergaben 0,0272 g NaCl + KCl und 0,0468 g K_2PtCl_6.

Die Molekularverhältnisse sind, unter Vernachlässigung der Alkalien und des Titans, folgende:

SiO_2	4,8
Al_2O_3	1,0
Fe_2O_3	1,6
MgO	1,1
CaO	0,7.

Im Verlauf einiger weiter unten angeführten Untersuchungen erwies es sich als zweckmässig, den Lösslehm auch mit konzentrierter Salzsäure auszukochen. Bei der Gelegenheit wurde eine Analyse der in konz. Salzsäure gelösten Stoffe ausgeführt, die im folgenden zugleich mit der Analyse der in fünfprozentiger Salzsäure löslichen Anteile zur Vergleichung zusammengestellt ist:

	in 5% HCl löslich	in konz. HCl löslich
SiO_2	6,53	7,55
TiO_2	0,10	0,23
Al_2O_3	2,33	3,87
Fe_2O_3	5,78	6,07
MgO	0,96	1,02
CaO	0,88	0,79
Na_2O	0,12	0,30
K_2O	0,17	0,44
	16,87	20,27

1,4887 g Sbst.: 1,0990 g (76 %) unlöslicher Rückstand (wasserfrei); 0,1095 g SiO_2; 0,1470 g R_2O_3, davon 0,0878 g Fe_2O_3 und 0,0034 g TiO_2; 0,0114 g CaO; 0,0405 g $Mg_2P_2O_7$; 0,0182 g NaCl + KCl; 0,0331 g K_2PtCl_6.

Wie ersichtlich, ist also der grössere Teil der im Lösslehm vorliegenden Silikate in Salzsäure unlöslich: durch konz. Salzsäure wurden etwa 20 %, durch verdünnte etwa 17 % gelöst.

Aus den bisher wiedergegebenen Untersuchungen über den Lösslehm von Gottenheim können noch keine Schlüsse auf die mineralogische Zusammensetzung des in ihm enthaltenen Verwitterungssilikats, mithin auch nicht auf die chemischen Vorgänge bei der Verwitterung von Löss zu Lösslehm gezogen werden. Um einen besseren Einblick in die Zusammensetzung des Verwitterungssilikats im Lehm zu erhalten, erschien es daher zweckmässig, die feinsten und leichtesten Anteile, in welchen sich die Produkte der Verwitterung anzureichern pflegen, gesondert zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde eine Schlämmanalyse des Lehms mit dem Schöneschen Apparat ausgeführt, welche folgendes Ergebnis hatte:

Schlämmgeschwindigkeit	
0,5 mm	41,2
2 „	43,4
7 „	9,8
Rest	5,6
	100,0

Eine Probe des bei 0,5 mm Geschwindigkeit erhaltenen Anteils wurde der Behandlung mit fünfprozentiger Salzsäure unterworfen; die erhaltenen Werte sind im folgenden, neben den durch Behandlung des ungeschlämmten Lehms mit fünfprozentiger Salzsäure gewonnenen, aufgeführt:

bei 0,5 mm	geschlämmt	ungeschlämmt
SiO_2	7,51	6,53
Al_2O_3	2,95	2,43
Fe_2O_3	7,58	5,78
MgO	1,07	0,96
CaO	0,77	0,88
Na_2O	0,50	0,12
K_2O	0,47	0,17
Rückstand	74,46	79,90
Glühverlust	4,79	3,51
	100,10	100,28

1,5027 g Sbst.: 1,0734 g unlöslicher Rückstand (wasserfrei); 0,1082 g SiO_2; 0,1518 g R_2O_3, davon 0,1093 g Fe_2O_3; 0,0111 g CaO; 0,0428 g $Mg_2P_2O_7$; 0,0242 g $NaCl + KCl$; 0,0350 g K_2PtCl_6. 1,4588 g Sbst.: 0,0593 g H_2O bei 110° weggehend (4,06 %); 0,1292 g Glühverlust. 1,0296 g des bei 110° getrockneten Rückstandes: 0,0271 g H_2O.

Aus der Zusammenstellung ergibt sich, dass in den feinsten Schlämmanteilen die in fünfprozentiger Salzsäure löslichen Verbindungen etwas angereichert sind; im übrigen lässt aber auch diese Betrachtung noch keine sicheren Schlüsse auf das in dem leichten Anteil vorhandene Verwitterungssilikat zu; insbesondere ist eine Berechnung auf bestimmte Mineralien durch die grosse Anzahl der noch in reichlicher Menge vorhandenen verschiedenen Basen erschwert.

Die Molekularverhältnisse sind fast die gleichen für die gelösten Stoffe des geschlämmten Anteils wie für den ungeschlämmten Lehm:

	bei 0,5 mm geschlämmt	ungeschlämmt
SiO_2	4,3	4,8
Al_2O_3	1,0	1,0
Fe_2O_3	1,6	1,6
MgO	0,9	1,1
CaO	0,5	0,7
Na_2O	0,3	0,1
K_2O	0,2	0,1

Um einen weiteren Einblick in die Zusammensetzung des Lehms zu erhalten, schien es vorteilhaft, die durch Salzsäure zersetzbaren Silikate zunächst herauszulösen, den dabei erhaltenen Rückstand zu schlämmen und die nun gewonnenen feinsten Anteile zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden etwa 100 g Lösslehm 3/4 Stunden mit konz. Salzsäure gekocht und danach in der üblichen Weise mit fünfprozentiger Natronlauge behandelt. Der ungelöste Rückstand wurde bei 0,2 mm Geschwindigkeit geschlämmt, wobei etwa

17 g feinster Teilchen übergingen; nach dem Trocknen zeigte der so gewonnene Anteil rein weisse Farbe und mit Wasser angerührt, starke Plastizität. Um zu erkennen, ob in diesem feinsten Material des Lehms Kaolin enthalten sei, wurde ausser der Gesamtanalyse eine sog. rationelle Analyse ausgeführt. Bei dieser wurde nur der in konz. Schwefelsäure unlösliche Teil, welcher nahezu 50 % betrug, analysiert und die auf den gelösten Anteil entfallenden Werte aus der Differenz von Gesamtanalyse und Ungelöstem ermittelt.

Die Gesamtanalyse hatte folgendes Ergebnis:

SiO_2	71,14
Al_2O_3	17,93
Fe_2O_3	2,01
MgO	0,82
CaO	0,67
Na_2O	1,13
K_2O	3,39
H_2O	4,12
	101,21

1,5506 g Sbst.: 0,0468 g H_2O bei 110° weggehend (3,02 %); 0,1088 g Gesamtglühverlust. 1,0181 g Sbst.: 0,7024 g SiO_2; 0,1969 g R_2O_3, davon 0,0199 g Fe_2O_3; 0,0066 g CaO; 0,0224 g $Mg_2P_2O_7$. 0,5329 g Sbst.: 0,0387 g $NaCl + KCl$ und 0,0924 g K_2PtCl_6.

Die rationelle Analyse lieferte folgende Werte:

	In konz. Schwefelsäure unlöslich	löslich
SiO_2	45,90	25,24
Al_2O_3	1,68	16,25
Fe_2O_3	0,09	1,92
MgO	0,07	0,75
CaO	0,08	0,59
Na_2O	0,56	0,57
K_2O	0,60	2,79
H_2O	—	4,12
	48,98	52,23

4,9920 g Sbst.: 2,3713 g Rückstand, hierin 0,0721 g R_2O_3, davon 0,0047 g Fe_2O_3; 0,0038 g CaO; 0,0094 g $Mg_2P_2O_7$; 0,0967 g $NaCl + KCl$; 0,1504 g K_2PtCl_6.

Nimmt man an, und dieser Annahme steht nach der mikroskopischen Untersuchung nichts im Wege, dass in dem in konz. Schwefelsäure unlöslichen Teil Tonerde und Alkalien in Form von Feldspat vorliegen, so berechnet sich der Gehalt hieran auf rund 9 %, während der Rest der Kieselsäure mit 40 % aus Quarz besteht.

Über die Natur des in Schwefelsäure löslichen Teils lässt sich mit Sicherheit nichts aussagen. Das Verhältnis basische Oxyde : Kieselsäure : Wasser ist gleich 1 : 2 : 1. Hieraus geht zweifellos hervor, dass dieser Teil nicht reiner Kaolin ist; ob dieser aber nicht dennoch darin vorhanden und nur mit anderen Silikaten gemischt ist, lässt sich aus der Analyse allein nicht entscheiden.

Gneislehm vom Sternwald
bei Freiburg.

Zur Vergleichung mit dem vorher beschriebenen Lösslehm wurde auch ein durch Verwitterung aus Gneis entstandener Lehm untersucht. Dieser stammte aus der nächsten Umgebung von Freiburg und wurde an der neuen Waldfahrstrasse im Sternwald einer direkt über anstehendem Gneis liegenden Verwitterungsschicht entnommen. Da er noch viel unverwittertes gröberes Material enthielt, wurde er zunächst getrocknet und gesiebt. Der bei 0,5 mm Lochweite abgesiebte Teil wurde sodann geschlämmt. Hierbei ergab sich der Korngrösse nach folgende Zusammensetzung:

Schlämmgeschwindigkeit	Gneislehm	Lösslehm
0,5 mm	21,8	41,2
2 „	15,2	43,4
7 „	25,8	9,8
Rest	37,2	5,6
	100,0	100,0

Zur Vergleichung wurden die entsprechenden Zahlen für den Lösslehm hinzugefügt. Wie ersichtlich, sind die Unterschiede der bei den verschiedenen Geschwindigkeiten erhaltenen Anteile sehr bedeutend; während beim Lösslehm die bis 2 mm Schlämmgeschwindigkeit erhaltenen Mengen etwa 85 % ausmachen, entfallen auf die entsprechenden Mengen des Gneislehms nur 37 %.

Wie die mikroskopische Untersuchung zeigte, besteht dieser Lehm vorzugsweise aus Feldspat, während der Quarz an Menge erheblich zurücktritt. Daneben zeigte sich wenig Muskowit und Biotit. Unter den schweren Mineralien (spez. Gew. > 2,9) überwiegt bei weitem der Zirkon, während Turmalin ziemlich selten ist.

Um festzustellen, ob auch in der chemischen Zusammensetzung wesentliche Unterschiede vorhanden seien, wurde zunächst ebenso wie beim Lösslehm der bei 0,5 mm erhaltene Anteil des Gneislehms der Behandlung mit fünfprozentiger Salzsäure unterworfen. Hierbei wurden für die Zusammensetzung des in Salzsäure löslichen Teils folgende Zahlen erhalten:

	Gneisslehm
SiO_2	3,29
Al_2O_3	0,92
Fe_2O_3	9,50
MgO	0,28
CaO	0,29
Na_2O	0,28
K_2O	0,53
unlöslicher Rückstand (wasserfrei)	76,92
Glühverlust	7,44
	99,45

1,5186 g Sbst.: 0,0576 g H_2O (bei 110° weggehend); 0,1663 g Gesamtglühverlust. 1,5168 g Sbst.: 1,1226 g Rückstand (wasserfrei); 0,0480 g SiO_2; 0,1521 g R_2O_3, davon 0,1386 g Fe_2O_3; 0,0042 g CaO; 0,0112 g $Mg_2P_2O_7$; 0,0200 g $NaCl + KCl$ und 0,0399 g K_2PtCl_6. 1,1803 g des bei 110° getrockneten Rückstandes: 0,0781 g H_2O (5,45 %).

Hieraus ergeben sich folgende Molekularverhältnisse für die gelösten Stoffe:

	Gneislehm	Lösslehm
SiO_2	6,1	4,3
Al_2O_3	1,0	1,0
Fe_2O_3	6,6	1,6
MgO	0,8	0,9
CaO	0,6	0,5
Na_2O	0,5	0,3
K_2O	0,6	0,2

Vergleichen wir diese Zahlen mit den entsprechenden für den Lösslehm, so sehen wir, dass das Verhältnis von Tonerde, Kalk und Magnesia in beiden nahezu dasselbe ist, dass aber das aus Gneis hervorgegangene Verwitterungsprodukt an Salzsäure im Verhältnis zur Tonerde erheblich mehr Kieselsäure und Alkalien, besonders aber sehr viel mehr Eisenoxyd abgibt.

Um einen besseren Einblick in die Natur des Verwitterungssilikats zu erhalten, wurde, ebenso wie es beim Lösslehm geschehen war, auch der Gneislehm durch Kochen mit konz. Salzsäure von den löslichen Silikaten befreit und dann bei einer Geschwindigkeit von 0,2 mm geschlämmt. Der so gewonnene Anteil hatte grauweisse Farbe und zeigte, mit Wasser angerührt, wie der entsprechende Anteil des Lösslehm, starke Plastizität.

Die Bauschanalyse ergab folgende Zusammensetzung:

SiO_2	52,34
TiO_2	1,53
Al_2O_3	29,21
Fe_2O_3	1,44
MgO	1,17
CaO	0,69
Na_2O	0,42
K_2O	5,75
Glühverlust	7,26
	99,81

1,5496 g Sbst.: 0,0544 g H_2O (bei 110° weggehend = 3,51 %); 0,1629 g Gesamtglühverlust. 1,1086 g Sbst.: 0,5599 g SiO_2; 0,3442 g R_2O_3, davon 0,0154 g Fe_2O_3 und 0,0164 g TiO_2; 0,0074 g CaO; 0,0346 g $Mg_2P_2O_7$. 0,5280 g Sbst.: 0,0504 g $NaCl + KCl$ und 0,1518 g K_2PtCl_6.

Entsprechend dem beim Lösslehm eingeschlagenen Verfahren wurde ausserdem noch eine rationelle Analyse ausgeführt, welche folgendes Ergebnis hatte:

	In konzentrierter Schwefelsäure unlöslich	löslich
SiO_2	8,30	44,04
TiO_2	0,08	1,45
Al_2O_3	0,10	29,11
Fe_2O_3	0,10	1,34
MgO	—	1,17
CaO	—	0,69
Na_2O	0,06	0,36
K_2O	0,06	5,69
H_2O	—	7,26
	8,70	91,11

5,1210 g Sbst.: 0,4013 g Rückstand; 0,0136 g R_2O_3, davon 0,0050 g Fe_2O_3 und 0,0040 g TiO_2; 0,0109 g $NaCl + KCl$ und 0,0160 g K_2PtCl_6.

Der in Schwefelsäure unlösliche Rückstand besteht hiernach aus etwa 0,5 % Feldspat und 8 % Quarz.

In dem in Schwefelsäure löslichen Teil ist das Verhältnis: basische Oxyde : SiO_2 : H_2O = 1 : 2 : 1, d. h. dasselbe wie bei dem Lösslehm. Und zwar stimmen hier die Zahlen fast genau, während beim Lösslehm der Gehalt an Kieselsäure etwas zu niedrig ist.

Vergleichen wir die erhaltenen Ergebnisse nochmals miteinander, so sehen wir, dass bei gleichem Feinheitsgrad der Lösslehm an Salzsäure viel mehr Kieselsäure und Tonerde abgibt als der aus Gneis hervorgegangene Lehm, während bei den übrigen Bestandteilen kein so grosser Unterschied vorhanden ist.

Der in Salzsäure unlösliche Teil des Lösslehms enthält sehr viel mehr Quarz (40 %) als der gleich feine Anteil des Gneislehms (8 %). Da der letztere

nur noch 0,5 % Feldspat, der Lösslehm dagegen 9 % enthält, muss der Gneislehm als das weiter in der Verwitterung fortgeschrittene Produkt betrachtet werden.

Diese verschiedene Zusammensetzung ermöglicht es, durch eine zweckmässig ausgeführte Analyse ohne weiteres zu entscheiden, ob ein Lehm aus Löss oder aus Gneis hervorgegangen ist.

Behandlung des Löss mit kohlensäurehaltigem Wasser.

Unter den Faktoren, welche im Laufe der Jahrtausende die Verwitterung des Löss zu Lehm herbeiführen, spielt die Kohlensäure eine hervorragende Rolle. Unter ihrer Einwirkung werden die im Löss vorhandenen Karbonate allmählich fortgeführt, werden ferner auch viele Silikate zersetzt und die in ihnen enthaltenen Basen in lösliche Karbonate verwandelt. Es war daher von Interesse, eine Probe von unverwittertem Löss der Einwirkung von mit Kohlensäure gesättigtem Wasser längere Zeit hindurch auszusetzen, gleichsam eine künstliche Verwitterung des Löss herbeizuführen, um hernach an Hand der Analyse die eingetretenen Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung zu verfolgen. Zu diesem Zweck wurde ein $^1/_2$ m langes Glasrohr von 2 cm Durchmesser, dessen unteres, sich zu einer kleinen Ausflussöffnung verjüngendes Ende eine 1 cm hohe Schicht von Asbestfasern als Filter enthielt, zu $^3/_4$ mit unverwittertem Löss gefüllt und an einem Stativ befestigt. In den obersten Teil des Rohres ragte das zu einer feinen Kapillare ausgezogene Ende eines rechtwinkelig gebogenen Glasrohres, das andererseits in den seitlichen Tubus einer Mariotteschen Flasche einmündete; diese enthielt das mit Kohlensäure gesättigte Wasser und war durch ein in ihre obere Öffnung einmündendes Glasrohr mit einem Kippschen Kohlensäureapparat derart verbunden, dass an Stelle des von der Kapillare aus der Flasche abtropfenden Wassers stets nur Kohlensäure in dieselbe eintrat; hierdurch wurde bewirkt,

dass das Wasser dauernd mit Kohlensäure gesättigt blieb. Das aus dem Rohr nach Durchdringung der gesamten Lössschicht abtropfende Wasser wurde in darunter gestellten Gefässen gesammelt.

Eine derartige Behandlung wurde mit einer Probe von Löss „Wasenweiler I“ $^3/_4$ Jahre hindurch fortgesetzt. Der Zufluss wurde so geregelt, dass alle 1—2 Minuten ein Tropfen Wasser eintropfte und unten abfloss. Die ganze Lössschicht blieb so ständig feucht, ohne jedoch mit Wasser gesättigt zu sein. Nach $^3/_4$ Jahren wurden die gesamten abgetropften Flüssigkeitsmengen eingedampft und der Analyse unterworfen. Sie enthielten:

0,0601 g SiO_2
0,0074 g $Al_2O_3 + Fe_2O_3$
0,0899 g MgO
0,7340 g CaO
0,0104 g Na_2O
0,0080 g K_2O

Aus den Zahlen ergibt sich, dass, wie zu erwarten stand, Silikate nur in ganz geringen Mengen gelöst wurden. Die auf Kalk und Magnesia entfallenden Mengen können daher nahezu ganz als von den entsprechenden in Lösung gegangenen Karbonaten herrührend angesehen werden. Das Molekularverhältnis $CaCO_3 : MgCO_3$ berechnet sich demnach zu 5,9 : 1; es ist also genau dasselbe wie im unverwitterten Löss.

Es war ferner von Interesse, zu untersuchen, ob vielleicht derjenige Teil der Lössschicht, welcher sich im Rohr zu unterst befand, durch Umsetzung von Karbonaten, die in den oberen Teilen gelöst und unten wieder abgesetzt waren, eine von der zu oberst befindlichen Zone abweichende Zusammensetzung zeigte. Zu diesem Zweck wurden dem oberen und dem unteren Teil der Schicht Proben entnommen, mit fünfprozentiger Salzsäure behandelt und in den hierdurch erhal-

tenen Lösungen Kalk und Magnesia bestimmt, um hieraus einen Rückschluss auf die gelösten Karbonate zu ziehen. Ausserdem wurde in entsprechenden Proben die Kohlensäure direkt bestimmt.

Oben) 1,5293 g Sbst.: 0,2240 g CaO und 0,1178 g $Mg_2P_2O_7$. — 1,4452 g Sbst.: 0,1918 g CO_2.

Unten) 1,5171 g Sbst.: 0,2656 g CaO und 0,1255 g $Mg_2P_2O_7$. — 1,4732 g Sbst.: 0,2274 g CO_2.

Aus diesen Zahlen berechnet sich folgender Prozentgehalt:

	oben	unten	unveränderter Löss
CaO	14,65	17,51	17,02
MgO	2,79	3,00	3,10
CO_2	13,27	15,52	15,64

Aus den gefundenen Kohlensäuremengen ergibt sich, dass nicht aller Kalk und alle Magnesia als Karbonat vorliegen können, ein Teil davon muss vielmehr als leichtzersetzliches Silikat vorhanden sein. Da sich dieser Überschuss an Basen in beiden Fällen annähernd gleichmässig verteilen wird, darf man zur Berechnung einer etwaigen Verschiebung des Verhältnisses $CaCO_3$: $MgCO_3$ hiervon wohl absehen und der Rechnung die Mengen der gefundenen Oxyde zugrunde legen. Unter diesen Voraussetzungen ergeben sich für das genannte Verhältnis für die obere Schicht die Zahlen 3,8 : 1. Da dieses Verhältnis, in derselben Weise berechnet, für den ursprünglichen Löss 3,9 : 1 ist, haben sich beide Karbonate gleichmässig im Verhältnis der vorhandenen Mengen gelöst, wie dies auch aus der Analyse des gelösten Teiles hervorging. Die unteren Schichten sind von der mit Karbonaten bereits gesättigten Lösung unverändert durchflossen worden; auf die kleine Abweichung in der Zusammensetzung dieser unteren Schicht gegenüber dem ursprünglichen Löss darf man wohl keinen allzugrossen Wert legen.

Der besseren Übersicht wegen seien die erhaltenen Analysenwerte zum Schluss nochmals kurz zusammengestellt. Die Reihenfolge ist immer dieselbe und zwar:

1. Löss von Wasenweiler I.
2. Löss von Wasenweiler II, etwas verlehmt.
3. Löss von Ringsheim I.
4. Löss von Ringsheim II, etwas verlehmt.
5. Lösslehm von Gottenheim.

Bauschanalysen:

	1	2	3	4	5
SiO_2	49,92	54,00	50,85	64,73	73,21
TiO_2	0,52	0,60	0,46	0,53	0,79
Al_2O_3	6,41	8,26	6,08	7,40	9,82
Fe_2O_3	3,43	5,13	3,46	4,02	6,84
MgO	3,23	3,09	3,04	2,10	1,32
CaO	17,48	13,04	17,49	7,96	1,11
Na_2O	1,01	0,84	1,08	1,02	1,57
K_2O	1,58	1,75	1,63	2,21	2,11
CO_2	15,64	11,92	15,33	6,59	0,16
H_2O	1,38	1,90	1,16	1,44	2,75
Organ. Stoffe	—	0,35	—	2,29	0,60
	100,60	100,88	100,58	100,29	100,28

In verdünnter Salzsäure löslich:

	1	2	3	4	5
SiO_2	2,75	3,45	2,25	3,76	6,53
TiO_2	0,15	0,10	0,05	—	0,10
Al_2O_3	1,11	1,16	1,08	1,18	2,33
Fe_2O_3	2,06	4,08	2,51	3,04	5,78
MgO	3,10	2,97	2,88	1,85	0,96
CaO	17,02	12,96	16,98	7,60	0,88
Na_2O	—	—	0,05	—	0,12
K_2O	0,34	0,22	0,14	0,38	0,17
CO_2	15,64	11,92	15,33	6,59	0,16
	42,17	36,86	41,27	24,40	17,03

Gehalt an Karbonaten:

	1	2	3	4
$CaCO_3$	30,36	23,12	29,65	13,56
$MgCO_3$	4,41	3,37	4,31	1,21
	34,77	26,49	33,96	14,77

	1	2	3	4
$CaCO_3 : MgCO_3$	5,9 : 1	5,9 : 1	5,9 : 1	9,6 : 1

Molekularverhältnisse der in verdünnter Salzsäure löslichen Stoffe nach Abzug der Karbonate:

	1	2	3	4	5
SiO_2	4,2	5,0	3,4	5,4	4,8
Al_2O_3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fe_2O_3	1,2	2,2	1,4	1,6	1,6
MgO	1,3	2,5	1,9	2,7	1,1

In gleicher Weise sind nachstehend auch die einander entsprechenden Analysen des Lösslehms von Gottenheim und des Gneislehms vom Sternwald bei Freiburg zusammengestellt.

Von dem bei 0,5 mm Geschwindigkeit abgeschlämmten Anteil der Lehme waren in Salzsäure löslich:

			Molekularverhältnisse der gelösten Stoffe	
	Lösslehm	Gneislehm	Lösslehm	Gneislehm
SiO_2	7,51	3,29	4,3	6,1
Al_2O_3	2,95	0,92	1,0	1,0
Fe_2O_3	7,58	9,50	1,6	6,6
MgO	1,07	0,28	0,9	0,8
CaO	0,77	0,29	0,5	0,6
Na_2O	0,50	0,28	0,3	0,5
K_2O	0,47	0,53	0,2	0,6
	20,85	15,09		

Der mit Salzsäure ausgekochte und dann bei 0,2 mm abgeschlämmte Teil der Lehme hatte folgende Zusammensetzung:

	Lösslehm	Gneislehm
SiO_2	71,14	52,34
TiO_2	—	1,53
Al_2O_3	17,93	29,21
Fe_2O_3	2,01	1,44
MgO	0,82	1,17
CaO	0,67	0,69
Na_2O	1,13	0,42
K_2O	3,39	5,75
H_2O	4,12	7,26
	101,21	99,81

Hiervon waren in konzentrierter Schwefelsäure unlöslich:

	Lösslehm	Gneislehm
SiO_2	45,90	8,30
Al_2O_3	1,68	0,10
Fe_2O_3	0,09	0,10
MgO	0,07	—
CaO	0,08	—
Na_2O	0,56	0,06
K_2O	0,60	0,06
	48,98	8,62

Hieraus ergibt sich für den in konzentrierter Schwefelsäure unlöslichen Teil die Zusammensetzung:

	Lösslehm	Gneislehm
Feldspat	9 %	0,5 %
Quarz	40 %	8 %.

Die vorstehende Arbeit wurde in dem chemischen Laboratorium (Abt. d. philosoph. Fakultät) der hiesigen Universität auf Veranlassung des Herrn Professor Dr. Meigen von mir ausgeführt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem verehrten Lehrer auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank für die vielfache Hilfe und Unterstützung auszusprechen, die er mir im Verlaufe der Arbeit freundlichst zuteil werden liess.